

**Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 ϕ dengan Kontrol PID
melalui Metode Field Oriented Control (FOC)
(Rectifier, Inverter, Sensor arus dan Sensor tegangan)**

Denny Septa Ferdiansyah¹, Gigih Prabowo², Sutedjo³

¹Mahasiswa D4 Jurusan Teknik Elektro Industri

²Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

³Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email deniajah@yahoo.com

Abstracts – Field oriented control methods of 3 Phase induction motor drive used to get low overshoot and short settling time. Motor drive scheme pass through PID Controller. Tuning the K_p, K_i and K_d value parameter of PID Controller. Field oriented control used in dynamics conditions.

Keywords : PID Controller, Field Oriented Control (FOC), Induction Motor

I. PENDAHULUAN

Pengaturan kecepatan motor induksi 3 ϕ dengan kontrol PID melalui metode Field Oriented Control (FOC). Motor induksi banyak digunakan di industri, namun dalam penggunaannya motor induksi memiliki hal – hal yang kurang menguntungkan nilai overshoot tinggi dan settling time yang lama serta apabila terjadi pembebanan kecepatan motor induksi akan turun.

Menggunakan metode FOC pada pengendalian kecepatan motor induksi bertujuan untuk melakukan pengaturan secara terpisah antara arus torsi dan arus medan.

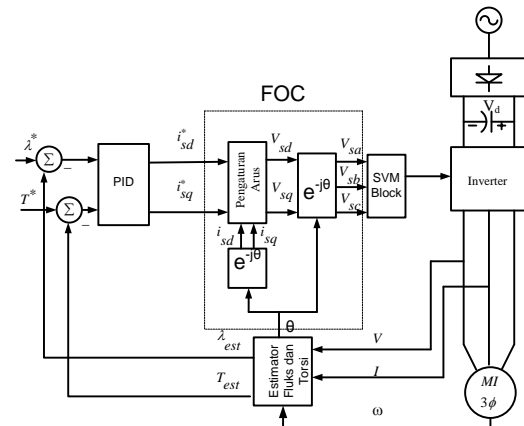
Kontrol PID juga merupakan salah satu metode pengontrolan yang digunakan untuk menghasilkan output yang konstan. Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing – masing kontrol P, I, D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional plus integral plus differensial (kontrol PID). Elemen-elemen kontrol P, I, dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mengatasi masalah yang terjadi saat start awal motor. Keluaran kontrol PID merupakan jumlahan dari keluaran controller proporsional, integral dan differensial. Penyetelan konstanta K_p, K_i dan K_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol

dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah yang akan memberi kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

II. DASAR TEORI

A. Metode Field Oriented Control

Field Oriented Control (FOC) adalah suatu metode pengaturan medan pada motor ac dari sistem coupled diubah menjadi sistem decoupled. Dengan sistem ini arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, dengan demikian torsi dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah, seperti halnya motor dc.



Gambar 1. Blok diagram sistem pengaturan kecepatan motor induksi

Prinsip dasar dari motor dc adalah dengan menjaga fluks tetap konstan, torsi dapat dikontrol dengan mengontrol arus jangkar.

$$T_e = k I_f I_a \quad (1)$$

Arus stator menghasilkan fluks stator, selanjutnya fluks stator akan menginduksi arus rotor sehingga akan menghasilkan fluks rotor, interaksi antara fluks stator dan fluks rotor menghasilkan torsi. Jarak sudut antara fluks stator dan fluks rotor tergantung dari beban dan putaran.

– Perhitungan Torsi :

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \psi_s i_s \quad (2)$$

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \frac{L_m}{L_r} \psi_r i_s \quad (3)$$

– Pada sumbu dq :

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \frac{L_m}{L_r} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (4)$$

B. Kontrol PID

Kontrol PID (Proportional – Integral – Derivative) merupakan kombinasi dari tiga jenis kontroler. Jika masing-masing dari ketiga jenis kontroler tersebut berdiri sendiri maka hasil yang dicapai kurang baik, sebab masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan sendiri-sendiri. Kombinasi dari ketiga jenis kontroler tersebut menjadi satu sistem kontrol tunggal, diharapkan mampu memberikan kontribusi dari kelebihan masing-masing.

Kontrol proporsional adalah suatu penguat linier yang dapat diatur penguatannya. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan $e(t)$.

$$m(t) = K_p e(t) \quad (5)$$

dengan: K_p adalah gain proporsional
 $m(t)$ adalah keluaran kontrol
 $e(t)$ adalah sinyal kesalahan

Kontrol proporsional integral adalah merupakan perubahan dari keluaran kontrol integral $m(t)$, berubah dengan fungsi waktu yang sebanding dengan sinyal kesalahan. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan $e(t)$ adalah :

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (6)$$

dengan: K_p adalah gain proporsional

T_i adalah waktu integral

Tetapan waktu integral T_i mengatur aksi kontrol integral, sedangkan K_p memperkuat bagian proporsional maupun bagian integral dari aksi kontrol. Kebalikan dari tetapan waktu integral T_i disebut laju reset. Laju reset adalah banyaknya pengulangan bagian proporsional dari aksi pengontrolan per detik. Kontrol proporsional derivatif didefinisikan.

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

dengan: K_p adalah gain proporsional

T_d adalah tetapan waktu derivatif

Kontrol derivatif sering disebut kontrol laju (rate control), karena besar keluaran kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal kesalahan. Tetapan waktu turunan T_d adalah selang waktu bertambah majunya respon kontrol proporsional yang disebabkan oleh aksi laju (rate action). Kontroler PID adalah gabungan kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol turunan. Gabungan kontrol ini mempunyai keunggulan dalam memperbaiki kesalahan sinyal dibandingkan dengan masing-masing dari tiga kontrol tersebut. Persamaan kontrol PID dapat diberikan sebagai berikut:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

Untuk memenuhi sistem yang diinginkan maka ketiga parameter PID harus ditetapkan secara optimal. Ada beberapa metode untuk menentukan parameter tersebut diantaranya adalah metode coba-coba (cut and try method), metode Ziegler-Nichols dan metode tanggapan tangga.

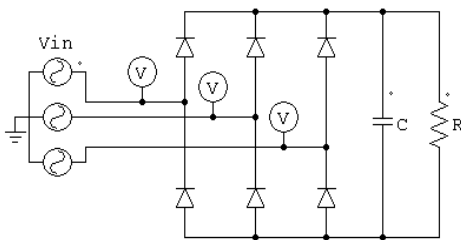
PID merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan.

Tabel 1 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	SS Error
Kp	Decrease	Increase	Small change	Decrease
Ki	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
Kd	Small change	Decrease	Decrease	Small change

C. Rectifier 3 Phase

Rangkaian rectifier 3 fasa dan 6 buah diode yang dapat mengubah tegangan 3 fasa menjadi tegangan DC. Rangkaianya seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2 berikut :

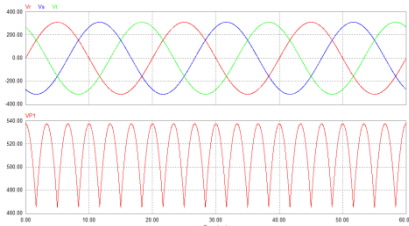


Gambar 2. Rangkaian Rectifier 3 Fasa

Untuk menentukan tegangan keluaran dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_m = \sqrt{2} \times V_s \quad (9)$$

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} V_m \quad (10)$$

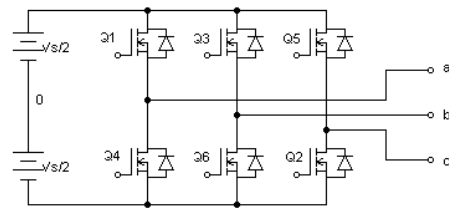


Gambar 3. Gelombang V input dan V output rectifier

D. Inverter 3 Phase

Konverter DC ke AC dinamakan inverter. Fungsi sebuah inverter adalah mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC simetris dengan besar dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan outputnya bisa tertentu

dan bisa juga diubah – ubah dengan frekuensi tertentu atau frekuensi yang diubah – ubah. Tegangan output variabel didapat dengan mengubah – ubah tegangan input DC agar gain inverter konstan. Disisi lain, apabila tegangan input DC adalah tertentu dan tidak bisa diubah – ubah, bisa didapatkan tegangan output yang variabel dengan mengubah – ubah gain dari inverter. Gain inverter didefinisikan sebagai rasio tegangan output AC terhadap tegangan input DC.



Gambar 4. Rangkaian Inverter 3 Fasa

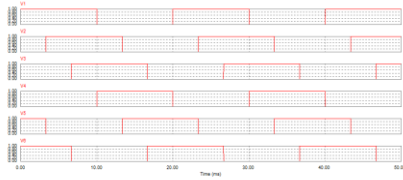
Rangkaian Inverter ini terdiri dari enam buah piranti switching (MOSFET) yang bekerja secara berpasangan dan bekerja (on-off) secara bergantian. Maka membutuhkan enam buah pulsa yang bekerja on-off secara bergantian. Rangkaian dasar Three Phase Full Bridge Inverter pada Gambar 4. didesain untuk menghasilkan tegangan 380 Vac dan arus 3 Ampere. Untuk memenuhi keadaan tersebut, piranti yang sesuai untuk Three Phase Full Bridge Inverter ini menggunakan MOSFET tipe IRFP 460. MOSFET ini memiliki kemampuan switching diatas 50 KHz, batas kemampuan tegangan drain-source sampai 500 V dan arus drain ID 20 Ampere.

Untuk menentukan tegangan keluaran dari inverter dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{out} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s \quad (11)$$

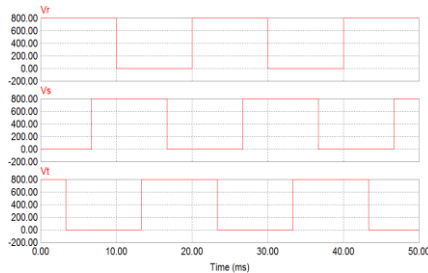
Rangkaian Inverter 3 phase ini menggunakan PCI 1710 yang sudah diprogram matlab sebagai pembangkit PWM untuk menyulut mosfet inverter. PWM keluaran dari PCI 1710 dihubungkan dengan rangkaian optoisolator yang digunakan sebagai pemisah antara PCI dengan mosfet inverter 3 phase.

Sehingga dengan optoisolator terhindar dari kerusakan, apabila terdapat arus balik dari rangkaian inverter 3 phase.



Gambar 5. Pulsa switching untuk inverter

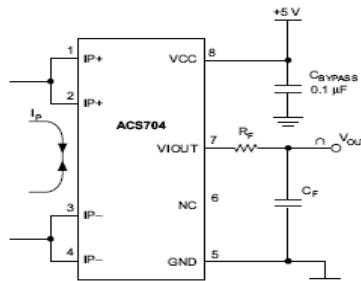
Dengan simulasi menggunakan sudut switching 180° untuk inverter seperti pada gambar 5 diatas, maka dihasilkan pulsa keluaran dari inverter seperti pada gambar 6. dibawah ini.



Gambar 6. Pulsa keluaran inverter

E. Sensor arus

Untuk sensor arus digunakan IC ACS 712 yang dapat membaca nilai arus hingga 20 Ampere. Output dari sensor arus ini berupa tegangan yang proporsional dengan nilai arus input yang dibaca, dengan sensitivitas 100 mV / A.



Gambar 7. Skematik sensor arus ACS 712

F. Sensor Tegangan

Sensor tegangan menggunakan resistor pembagi tegangan dipasang secara paralel antara fasa dan netral. Fungsi resistor ini adalah untuk menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (12)$$

III. DATA HASIL PENGUJIAN

A. Rectifier 3 Fasa

V _{in} (Volt)	I _{in} (Ampere)	V _{out} (Volt)	I _{out} (Ampere)
155	0.8	200.1	1
150	0.72	190.2	0.9
140	0.7	180	0.8
135	0.66	170.4	0.79
125	0.61	160	0.78
120	0.6	150.1	0.65
112	0.55	140.2	0.61
105	0.51	130.8	0.6
100	0.5	120.8	0.59

B. Sensor Arus (ACS)

I beban (Ampere)	V out (mV)
1	92
2	188
3	288
4	383
5	481

C. Hasil Pengujian Sensor Tegangan AC

V _{Il} (Volt)	V _{In} (Volt)	V _u (Volt)	V _v (Volt)	V _w (Volt)	V _{uv} (Volt)	V _{uw} (Volt)	V _{vw} (Volt)
17.32	10	0.202	0.229	0.335	17.31	17.17	19.6
34.64	20	0.422	0.442	0.456	34.62	34.59	37
51.96	30	0.647	0.662	0.685	51.9	52	54.3
69.28	40	0.869	0.879	0.912	69.2	69.5	71.6
86.6	50	1.095	1.1	1.141	86.5	87	89.1

D. Hasil Pengujian Sensor Tegangan DC

Vdc (Volt)	Vout (mV)
1	12.4
2	24.9
3	37.4
4	50
5	62.5
6	75.1
7	87.6
8	100.1
9	112.6
10	125.1

IV. KESIMPULAN

1. Pengaturan kecepatan putar motor induksi 3ϕ dilakukan untuk mendapatkan overshoot yang rendah serta settling time yang pendek.
2. Kontrol PID diatur melalui parameter K_p , K_i , K_d . Penggunaan metode FOC untuk motor induksi dengan kondisi dinamis.
3. Pada Paper ini telah dilaksanakan pembuatan rectifier, inverter serta sensor arus, sensor tegangan, dan pengujian secara open loop.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardana I Wayan Raka, "*Simulasi Sistem Kontroler PID untuk Motor Induksi menggunakan perangkat lunak Matlab / Simulink*", Politeknik Negeri Bali, Bali, 2008.
- [2] Domenico Casadei, Member, IEEE, Francesco Profumo, Senior Member, IEEE, Giovanni Serra, Member, IEEE, and Angelo Tani, "FOC and DTC: Two Viable Schemes for Induction Motors Torque Control", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol. 17, No. 5, September 2002.